Tolérances admises sur les ouvrages en béton coulé in situ : évolution des spécifications

Chaque phase de l'édification d'une construction implique le respect de certaines tolérances d'exécution en vue de garantir la stabilité, les performances en condition de service, la connexion entre les éléments (positionnement) et l'esthétique de l'ouvrage ou de certaines parties de celui-ci. Ces dernières décennies ont vu fleurir quantité de prescriptions émanant de diverses instances, que ce soit pour les éléments préfabriqués en béton ou pour le béton coulé *in situ*. Le présent article tente d'établir un état de la situation pour le béton coulé *in situ*. Il constitue une mise à jour de l'article publié dans CSTC-Magazine n° 1 de 1999 [8].

1 CLASSEMENT

En règle générale, on classe les différents types de tolérances applicables à la construction dans les catégories suivantes (voir terminologie p.3) :

- tolérances sur l'implantation (voir § 3)
- tolérances de pose (voir § 4)
- tolérances de fabrication (voir § 5)
- tolérances de mise en œuvre (voir § 6)
- tolérances sur l'exécution des baies et évidements (voir § 7).

Seules les tolérances des ouvrages en béton coulé *in situ* sont examinées dans le présent article, bien que certains documents de référence cités puissent également s'appliquer aux éléments préfabriqués en béton.

2 HISTORIQUE

Les documents définissant les tolérances applicables au béton coulé *in situ* sont énumérés au tableau 1 (p. 2) par ordre chronologique.

Depuis 2000, il existe toutefois une norme belge – la NBN ENV 13670-1 [19] – basée sur une prénorme européenne. Cette norme européenne expérimentale, d'application provisoire, établit une distinction entre les tolérances normatives (type N) et les tolérances informatives (type I).

Les tolérances normatives constituent des tolérances structurales considérées comme essentielles pour la résistance mécanique et la stabilité des structures. Elles concernent :

- les écarts admissibles sur la verticalité des colonnes et des murs : hors plomb d'une colonne à n'importe quel niveau, écart entre les axes centraux des colonnes et des murs, courbure d'une colonne entre deux niveaux adjacents, position d'une colonne ou d'un mur à n'importe quel étage par rapport au niveau de base dans une structure à plusieurs étages
- les écarts admissibles pour les poutres et les dalles : position d'une connexion entre une colonne et une poutre, mesurée par rapport à la colonne, position de l'axe de la pièce d'appui
- les écarts admissibles sur les dimensions des sections
- les écarts admissibles sur la position des armatures ordinaires et de précontrainte et le recouvrement (longitudinal) des armatures.

Les tolérances informatives sont généralement considérées comme ayant une faible influence structurale suivant la fonction de l'élément. Soulignons que les spécifications du projet devraient mentionner si ces tolérances sont d'application. Les tolérances informatives concernent :

- les écarts admissibles sur la situation des fondations : distances horizontales jusqu'aux lignes de référence, distance verticale jusqu'au niveau de référence
- les écarts admissibles sur la pose des colonnes et murs sur la base des coupes horizontales : position d'une colonne ou d'un mur par rapport à la/les ligne(s) secondaire(s), distance entre deux colonnes ou deux murs adjacents
- les écarts admissibles pour les poutres et les dalles : courbure des poutres, distance entre deux poutres adjacentes, hors-niveau d'une poutre ou d'une dalle, niveau de deux poutres adjacentes, distance entre deux dalles situées à des niveaux successifs à hauteur des appuis, niveau du sol supérieur mesuré par rapport au système secondaire
- les écarts admissibles sur l'orthogonalité d'une section
- les écarts admissibles pour les surfaces et les arêtes : planéité, rectitude des arêtes, obliquité des sections
- les tolérances d'exécution des baies et des évidements.

Deux classes de tolérance sont prévues :

- la classe de tolérance 1, dite 'normale', qui permet l'application des hypothèses de l'Eurocode 2 en ce qui concerne le dimensionnement
- la classe de tolérance 2, qui devrait être utilisée pour les ouvrages spéciaux (gratte-ciels, ponts spéciaux, constructions pour réacteurs nucléaires, ...) et qui requiert une inspection dites de type 3 (plus approfondie), telle que définie dans la norme.

L'article précité [8], publié en 1999, mentionnait des valeurs pour la classe de tolérance 2, telles que définies dans le projet de norme de l'époque. La norme NBN ENV 13670-1 [19] ne spécifie quant à elle pas de valeurs pour la classe de tolérance 2. Celles-ci peuvent être définies au niveau national, ce qui n'a toutefois pas été réalisé à ce jour en Belgique.

La norme NBN ENV 13670-1 [19], relative à l'exécution des ouvrages en béton, s'applique en principe au béton coulé *in situ* et aux éléments préfabriqués en béton, à l'exception des éléments préfabriqués pour lesquels il existe une norme produit spécifique. Cette norme comporte une liste détaillée des écarts admissibles.

Les prescriptions de la NBN ENV 13670-1 [19] sont comparées à celles mentionnées dans le Fascicule 5 du Cahier général des charges pour travaux de construction privée [3], qui fixe les écarts admissibles sur la fabrication et la mise en œuvre des éléments en béton coulé *in situ*. Pour les écarts admissibles sur l'exécution des baies et des évidements, la NIT 127 [1] propose également une série de valeurs. Quant à l'appréciation visuelle des éléments en béton, on se conformera aux recommandations du rapport n° 24 du CIB [7].

Au niveau européen, l'année 1992 a vu la publication de la prénorme ENV 1992-1-1 [5] relative à la conception des structures en béton. En 1995, celle-ci a été intégrée à la norme belge NBN B 15-002 [16], qui a fait l'objet d'une nouvelle édition en 1999. Cette dernière définit un certain nombre de tolérances sur les di-

✍ *V. Pollet, ir., chef de division adjoint, Division Technologie et Environnement, CSTC*

Tableau 1 ***Documents définissant les tolérances applicables au béton coulé in situ.***

Date	Document	Commentaires
1973	Rapport CIB n° 24 [7]	Appréciation visuelle des éléments en béton
1979	Fascicules 5 et 6 du Cahier général des charges pour travaux de construction privée (CSTC, CNC et FAB) [3, 4]	Ecarts admissibles sur la fabrication et la mise en œuvre des éléments en béton coulé *in situ* (en vigueur jusqu'à l'homologation de la norme européenne EN 13670)
	NIT 127 (CSTC) [1]	Ecarts admissibles sur l'exécution des baies et des évidements
1992	ENV 1992-1-1 (IBN) [5]	Prénorme européenne intégrée à la norme belge NBN B 15-002 [16]
1994	Projet de NBN B 06-009 (IBN) [14]	Ecarts maxima admissibles pour la pose des structures de bâtiment
	Projet de NBN B 06-010 (IBN) [15]	Ecarts maxima admissibles sur les dimensions des éléments en béton en l'absence de norme belge spécifique
1995	NBN B 15-002 (IBN) [16]	Tolérances sur les dimensions linéaires de la section de béton et sur la mise en place des armatures
1997	PTV 200 (+ addendum 2002-2003) (IBN) [26]	Eléments de structure préfabriqués en béton
	PTV 201 (IBN) [27]	Planchers alvéolés préfabriqués en béton
1999	PTV 202 (IBN) [28]	Prédalles en béton armé et non armé
	Nouvelle édition de la NBN B 15-002 (IBN)	–
2000	NBN ENV 13670-1 (IBN) [19]	Norme expérimentale fixant les tolérances structurelles et non structurelles pour les ouvrages en béton coulé *in situ* et les éléments préfabriqués
2001	NBN EN 13369 (IBN) [17]	Règles communes pour les produits préfabriqués : tolérances sur les dimensions des sections transversales et sur la position des armatures
	PTV 212 + addendum (2003) (IBN) [29]	Eléments de parois préfabriqués
	PTV 21-601 (IBN) [30]	Eléments architectoniques et industriels préfabriqués en béton décoratif
A paraître en 2005	EN 1992-1-1 (CEN) (actuellement encore prEN 1992-1-1) [6]	Norme européenne relative au calcul des structures en béton qui entrera en application lors de la publication de l'annexe belge dans les deux ans

mensions linéaires de la section de béton et sur la mise en place des armatures. La norme européenne EN 1992-1-1 [6] a été approuvée cette année par le CEN. Dans les deux ans, une annexe nationale (ANB) devra être rédigée par la Belgique et l'ensemble viendra remplacer la norme NBN B 15-002 [16]. Selon le projet final de 2003 (à savoir la prEN 1992-1-1) actuellement en notre possession, la norme EN 1992-1-1 [6] comportera vraisemblablement des tolérances encore plus sévères pour les classes autres que la classe 1 dans le cas où un contrôle de qualité est prévu.

En 1994, deux projets de norme belges relatifs aux écarts admissibles sur les dimensions ont été publiés ; il s'agit :

- du projet de norme NBN B 06-009 [14] fixant les écarts maximaux admissibles pour la pose des structures de bâtiment
- du projet de norme NBN B 06-010 [15] fixant les écarts maximaux admissibles sur les dimensions des éléments en béton non envisagés dans une norme belge spécifique. Les valeurs préconisées dans ce projet de norme sont identiques à celles reprises dans la norme néerlandaise NEN 2889 [37]. En principe, les deux documents s'appliqueraient aussi bien aux éléments en béton coulé *in situ* qu'aux éléments préfabriqués.

Soulignons que, bien qu'elles soient à l'état de projet depuis un certain temps, les normes NBN B 06-009 [14] et NBN B 06-010 [15] n'ont toujours pas été approuvées définitivement et ne sont dès lors pas encore en vigueur. Nous n'en ferons donc plus mention dans la suite du texte.

Précisons par ailleurs qu'il existe, en Belgique, des Prescriptions Techniques particulières aux éléments préfabriqués en béton, homologuées par l'IBN (Institut belge de normalisation) comme documents normatifs. On peut citer à titre d'exemple les PTV 200 pour les éléments de structure [26], les PTV 201 pour planchers alvéolés [27], les PTV 202 pour les prédalles [28], les PTV 212 pour les éléments de parois préfabriqués [29] et les PTV 21-601 pour les éléments architectoniques et industriels préfabriqués en béton décoratif [30].

On trouvera, dans l'encadré ci-après (p.3), la terminologie courante relative aux tolérances selon les normes belges, européennes et internationales en la matière.

3 TOLÉRANCES SUR L'IMPLANTATION

Les tolérances sur l'implantation se rapportent aux écarts dimensionnels qui résultent de la technique d'implantation utilisée (théodolite, laser, ...). Ces techniques ne sont pas traitées dans la suite de cet article. On consultera à ce sujet les normes NBN ISO 4463, NBN ISO 7976 et NBN ISO 8322 [23, 24, 25] qui ont trait aux opérations d'implantation réalisées avec les différents systèmes de mesure.

4 TOLÉRANCES DE POSE

Les écarts admissibles sur la pose concernent le positionnement des éléments par rapport à des points et des lignes.

Terminologie

Cote : dimension exprimée dans une unité donnée.

Dimension de référence : dimension utilisée lors de la conception et dans la pratique, par rapport à laquelle on spécifie les écarts, qui sont idéalement égaux à zéro.

Dimension réelle : dimension obtenue par mesurage (après correction des erreurs connues).

Dimensions limites supérieure et inférieure admissibles : dimensions réelles maximale et minimale admises.

Ecart inférieur admissible : différence entre la dimension limite inférieure admissible et la dimension de référence correspondante.

Tolérance : différence entre la dimension limite supérieure admissible et la dimension limite inférieure admissible.

Tolérance d'implantation : variations admises sur la valeur d'implantation des points et des lignes ou sur la distance de ceux-ci par rapport aux points et lignes de référence correspondants.

Tolérance de pose : variations admises sur la distance d'un composant par rapport à l'implantation des points et des lignes.

Tolérance de fabrication : variations admises sur la dimension d'un composant par suite de sa fabrication.

Tolérance de mise en œuvre : variations admises sur la distance entre un point, une ligne ou une surface d'un composant mis en œuvre et les points, lignes ou plans de référence correspondants.

Tolérance informative (tolérance de type I) : tolérance sur une grandeur géométrique dont l'importance structurale dépend de la fonction de l'élément.

Tolérance normative (tolérance de type N) : tolérance sur une grandeur géométrique essentielle pour la résistance mécanique et la stabilité du bâtiment.

Pour ce qui est du béton coulé *in situ*, ces écarts revêtent une importance pour le positionnement du coffrage.

Outre les écarts admissibles sur le positionnement des éléments par rapport à l'implantation des lignes, la norme NBN ENV 13670-1 [19] définit des écarts admissibles pour l'écartement des poutres, parois, colonnes et dalles.

Les écarts admissibles sur la pose sont résumés au tableau 2. Il s'agit de tolérances informatives (type I).

5 TOLÉRANCES DE FABRICATION

5.1 Tolérances sur la fabrication des armatures

En ce qui concerne les tolérances sur la production des armatures (section, longueur, …), il importe de se référer aux documents suivants :

- pour les armatures passives : NBN A 24-301 à 304 [10, 11, 12, 13] et NBN ENV 10080 [18]
- pour les armatures de précontrainte : NBN I 10-002 [20], NBN I 10-003 [21], NBN I 10-008 [22], NIT 217 [2] et PTV 302 à 307 [31 à 36].

Les écarts admissibles sur la fabrication des armatures ne sont pas traités dans cet article. Cependant, il y a lieu pour l'exécution que ces écarts soient respectés lors de la production des armatures, p. ex. lors de la pose d'une barre coupée à dimension dans un coffrage préfaçonné.

***Tableau 2** Ecarts admissibles sur la pose selon la norme NBN ENV 13670-1 [18].*

Ecart admissible	Fondation de classe 1 (*)	Colonne/mur de classe 1 (*)	Dalle de sol de classe 1 (*)	Poutre de classe 1 (*)
Distance horizontale jusqu'à la ligne de référence	± 25 mm	± 25 mm	–	–
Distance verticale h jusqu'au niveau de référence	± 20 mm	–	Entre l'étage le plus haut et le niveau de référence : – h ≤ 20 m : ± 20 mm – 20 m < h < 100 m : ± 0,5 (h + 20) mm – h ≥ 100 m : ± 0,2 (h + 200) mm	–
Distance entre niveaux verticaux adjacents	–	–	Deux planchers successifs au niveau des appuis : ± 15 mm	–
Ecart de niveaux de poutres adjacentes	–	–	–	Deux poutres en parallèle : ± (10 + L/500) mm
Distance horizontale L entre deux éléments adjacents	–	La plus grande des valeurs ci-après : – ± 25 mm – ± L/600	–	La plus grande des valeurs ci-après : – ± L/500 – ± 15 mm, avec un maximum de 40 mm

(*) La classe 1 est toujours d'application, sauf pour les structures spéciales qui requièrent des exigences plus strictes.

5.2 Tolérances sur les éléments en béton

Les écarts admissibles sur les éléments en béton s'appliquent :
- aux dimensions linéaires (longueur, largeur, hauteur, épaisseur, …)
- à la planéité
- à la rectitude
- à l'équerrage
- à l'obliquité
- à la courbure.

Au tableau 3 (p. 5), nous avons procédé à une comparaison des écarts admissibles sur les éléments en béton, tels que définis dans la norme NBN ENV 13670-1 [19], avec d'autres prescriptions en vigueur. Nous en livrons une analyse ci-après.

5.2.1 Ecart admissible sur les dimensions linéaires

Les normes NBN B 15-002 [16] et NBN ENV 13670-1 [19] définissent des écarts admissibles pour les dimensions de la section de béton. Ces écarts s'appliquent notamment :
- à la hauteur totale ou effective
- à la largeur des poutres
- à l'épaisseur de l'âme des poutres
- aux dimensions transversales des colonnes.

Pour déterminer l'écart admissible sur des dimensions linéaires plus importantes (longueur des éléments en béton), on applique la formule générale mentionnée dans le Fascicule 5 du Cahier général des charges [3], soit :

$\varepsilon = +\frac{1}{4}\sqrt[3]{d}$, avec un maximum de 4 cm.

Dans cette formule, la valeur 'd' est la dimension linéaire, exprimée en centimètres. L'écart admissible est, lui aussi, exprimé en centimètres. A titre de comparaison, nous avons reporté sur un graphique (figure 1) les écarts admissibles selon la norme NBN B 15-002 [16] (pour les sections en béton) et selon les prescriptions du Fascicule 5 du Cahier général des charges [3] (pour chaque dimension linéaire). En classe 1 (càd pour la plupart des ouvrages de construction), les valeurs de la norme NBN ENV 13670-1 [19], qui sont de type N, sont équivalentes à celles préconisées par la norme belge NBN B 15-002 [16], sauf pour les dimensions inférieures à 150 mm (ε = 10 mm).

Le projet de norme européenne prEN 1992-1-1, amené à remplacer la NBN B 15-002 [16] dans le futur, prévoit d'autres tolérances pour les valeurs d'enrobage et les dimensions des sections transversales lorsque l'exécution est soumise à un contrôle de qualité.

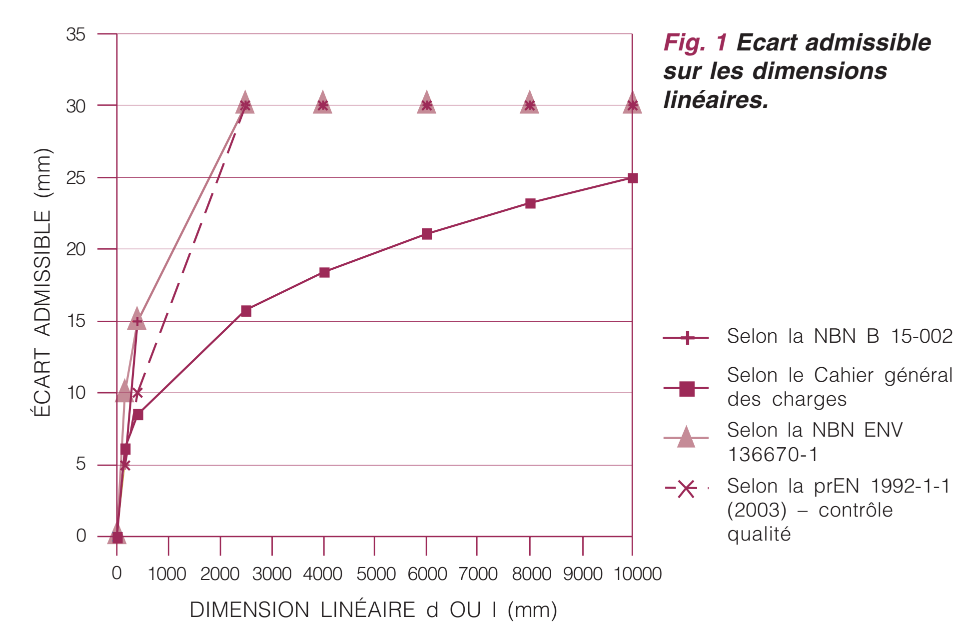


Fig. 1 Ecart admissible sur les dimensions linéaires.

5.2.2 Ecart admissible sur la planéité

La planéité des éléments a une influence sur l'aspect (esthétique) de l'ouvrage et, dans certains cas, sur sa fonctionnalité. L'écart admissible sur la planéité est classé parmi les tolérances de type I (informatives) dans la norme NBN ENV 13670-1 [19].

La planéité globale est contrôlée à l'aide d'une règle de 2 m, la planéité locale à l'aide d'une règle de 0,2 m. Cette méthode de contrôle est également prescrite dans le Rapport n° 24 du CIB [7], dans lequel les exigences de planéité globale sont toutefois exprimées par un écart en pourcentage par rapport à la plus grande dimension de l'élément. Pour l'appréciation visuelle des surfaces en béton, le rapport mentionne des écarts admissibles sur la largeur de joint entre éléments adjacents en béton (tableau 4, p. 6). Il définit en outre des règles complémentaires pour les tolérances d'aspect des surfaces en béton, comme les dimensions admissibles des défauts de surface ou les variations de teinte admises pour les bétons (contrôlées à l'aide d'échelles de gris).

5.2.3 Ecarts admissibles sur la rectitude, l'orthogonalité, l'obliquité et la courbure

La norme NBN ENV 13670-1 [18] fixe des écarts admissibles sur la rectitude (figure 2), sur l'orthogonalité (figure 3) et sur l'obliquité (figure 4) selon la longueur du côté de l'élément. Ces écarts sont de type I (informatifs).

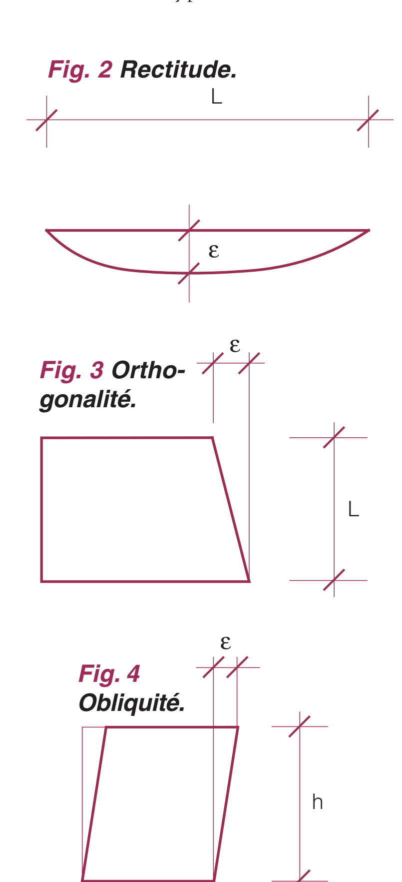


Fig. 2 Rectitude.

Fig. 3 Orthogonalité.

Fig. 4 Obliquité.

Outre l'écart admissible sur la rectitude des arêtes en général, des écarts admissibles sont également mentionnés pour la courbure des colonnes, des parois, des poutres et des dalles. En ce qui concerne les colonnes et les parois, les écarts admissibles sur la courbure sont considérés comme des tolérances de type N, tandis que les écarts admissibles sur la courbure des poutres et des dalles sont de type I.

6 TOLÉRANCES DE MISE EN ŒUVRE

6.1 Tolérances sur la mise en place des armatures

6.1.1 Ecart admissible sur le positionnement des armatures passives

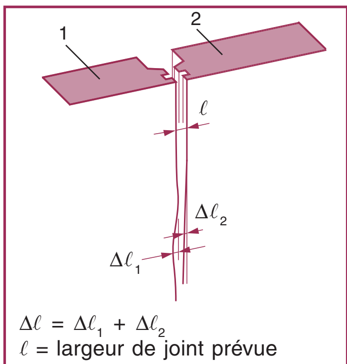
Pour les tolérances de positionnement des armatures passives, la norme NBN B 15-002 [16] mentionne exclusivement des valeurs minimales d'enrobage (c_{min}). Cet enrobage minimum

Tableau 3 ***Ecarts admissibles sur les éléments en béton selon la norme NBN ENV 13670-1 [18] et d'autres prescriptions en vigueur.***

	Ecart admissible	Cahier général des charges – Fascicules 5 et 6 [3, 4]	Rapport CIB n° 24 [7]			NBN B 15-002 [16]	prEN 1992 (2003) ou NBN ENV 13670-1 [19]	
			Exécution spéciale	*Exécution soignée*	*Exécution normale*		*Colonnes et parois de classe 1*	*Poutres et dalles de classe 1*
Eléments en béton	Dimensions linéaires	$\pm \frac{1}{4}\sqrt[3]{d_b}$ (cm) ≤ 4 cm	–	–	–	–	–	–
	Dimensions de la section de béton (1) : – $\ell \leq 150$ mm – $\ell = 400$ mm – $\ell \geq 2500$ mm	– – –	– – –	– – –	– – –	± 5 ± 15 ± 30	± 10 (± 5) (2) ± 15 (± 10) (2) ± 30 (± 30) (2)	± 10 (± 5) (2) ± 15 (± 10) (2) ± 30 (± 30) (2)
	Planéité : – Planéité globale sous la règle de 2 m – Planéité locale/irrégularité sous la règle de 0,2 m	– –	0,4 % 3 mm	0,6 % 6 mm	1,0 % 10 mm	– –	– Coffrées ou lissées: 9 mm Non coffrées : 15 mm – Coffrées ou lissées: 4 mm Non coffrées : 6 mm	
	Courbure des éléments (où h = hauteur et ℓ = longueur)	–	–	–	–	–	La plus grande de ces valeurs : h/300 ou 15 mm	La plus grande de ces valeurs : ℓ/600 ou 20 mm
	Rectitude des arêtes : – $\ell \leq 1$ m, ℓ : longueur de l'arête – $\ell > 1$ m, ℓ : longueur de l'arête	– –	– –	– –	– –	– –	8 mm 8 mm/m, ≤ 20 mm	
	Orthogonalité (avec L = longueur de la section)	–	–	–	–	–	La plus grande de ces valeurs : 0,04 L ou 10 mm, avec un maximum de 20 mm	
	Obliquité (avec h = hauteur et b = largeur de la section)	–	–	–	–	–	La plus grande de ces valeurs : h/25, b/25, avec un maximum de 30 mm	
Placement	Verticalité (avec d_b = hauteur de la paroi et h = hauteur de la paroi/colonne)	$\pm \frac{1}{8}\sqrt[3]{d_b}$ (3) En pratique : pour une hauteur de paroi de 250 cm, l'écart maximal admissible sur la verticalité est de 8 mm	–	–	–	–	– Un étage (colonnes), la plus grande de ces valeurs : h/300 ou 15 mm – n étages (colonnes ou parois), la plus petite de ces valeurs : 50 mm ou $\sum h/(200n^{1/2})$ (4)	–
	Alignement vertical t ($t = (t_1 + t_2)/2$ où t_1 et t_2 = épaisseur des parois)	–	–	–	–	–	La plus grande de ces valeurs : t/30 ou 15 mm	–
	Rectitude des lignes horizontales (avec d = longueur de la ligne et L = longueur de la poutre)	$\pm \frac{1}{8}\sqrt[3]{d}$ (cm) ≤ 4 cm	–	–	–	–	–	± (10 + L/500) mm (inclinaison de poutres ou dalles)

(1) Interpolation linéaire entre les deux valeurs.
(2) Lorsqu'un contrôle de qualité est effectué, la prEN 1992-1-1 impose de respecter des tolérances plus sévères. La NBN 13670-1 ne mentionne pas les valeurs entre parenthèses.
(3) Pour assurer la verticalité des piliers, il est impératif que la projection du centre de gravité de toute section transversale reste à l'intérieur d'un périmètre de même forme et de même centre que le noyau central, dont les dimensions sont réduites de 5 à 1.
(4) $\sum h$ = la somme des hauteurs de chacun des n étages (hauteur totale).

Tableau 4 ***Ecart admissible sur la largeur des joints.***



Finition spéciale	Finition soignée	Finition normale
La plus petite des deux dimensions suivantes : – 0,3 ℓ – ± 8 mm	La plus petite des deux dimensions suivantes : – 0,5 ℓ – ± 10 mm	La plus petite des deux dimensions suivantes : – 0,7 ℓ – ± 15 mm

doit être majoré d'une valeur (Δh) qui doit se situer dans certaines limites. Pour le béton coulé *in situ*, cette majoration est la suivante :

$$5 \text{ mm} \leq \Delta h \leq 10 \text{ mm}.$$

La norme NBN ENV 13670-1 [19] prend comme point de départ l'enrobage nominal (c_n) et fixe un écart admissible supérieur (Δ plus) et inférieur (Δ moins) sur la position de l'armature par rapport au recouvrement de béton. Les exigences de la norme sont reprises au tableau 5 ci-dessous. En ce qui concerne les fondations, l'écart admissible supérieur mentionné dans le tableau 5 peut encore être augmenté de 15 mm.

Le projet de norme prEN 1992-1-1, qui sera amené à remplacer la norme belge NBN B 15-002 [16] dans le futur, fait actuellement référence à la norme NBN ENV 13670-1 [19]. Il envisage en outre d'autres valeurs de tolérance lorsque l'exécution est soumise à un contrôle de qualité.

6.1.2 Ecart admissible sur le positionnement des armatures de précontrainte

L'écart admissible sur la position des armatures de précontrainte par rapport à la valeur de calcul est déterminé dans la norme belge NBN B 15-002 [16] (voir tableau 6). En outre, toute autre spécification découlant du projet doit également être respectée. La norme NBN ENV 13670-1 [19] traite les écarts admissibles sur les armatures de précontrainte de la même manière, bien que les valeurs spécifiées soient légèrement différentes de celles préconisées dans la norme belge NBN B 15-002 [16] (voir tableau 7).

Le projet de norme européenne prEN 1992-1-1 ne prévoit actuellement pas de valeurs particulières et renvoie à la norme belge NBN ENV 13670-1.

6.2 Tolérances sur la mise œuvre des éléments en béton

6.2.1 Ecart admissible sur la verticalité

L'écart admissible sur la verticalité des parois est déterminé selon les prescriptions du Fascicule 6 du Cahier général des charges [4], qui exige que la projection de toute section transversale du mur, sur la base de celui-ci, trace son axe longitudinal dans une zone de largeur 't' (en cm) dans les limites de laquelle l'axe du mur à sa base est inclus. La largeur 't' est déterminée grâce à la formule suivante :

$$t = \frac{1}{4}\sqrt[3]{d}$$

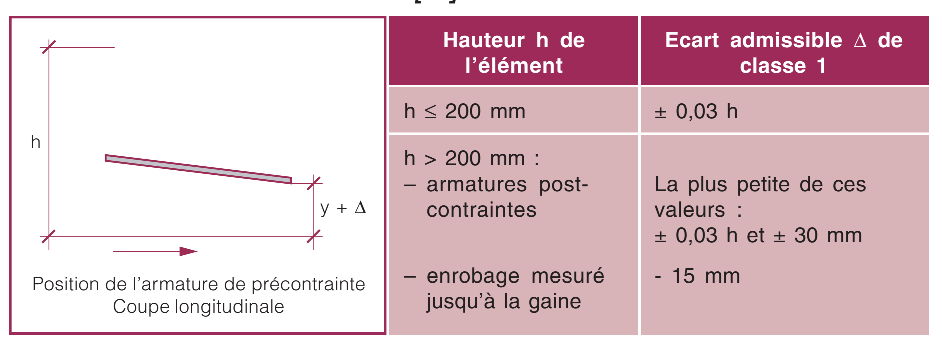
où d = la hauteur (en cm) de la paroi entre deux dalles de sol.

Etant donné que l'écart admissible ne représente que la moitié de la tolérance 't', un mur ou une colonne ne pourra présenter qu'un hors-plomb de 8 mm pour une hauteur d'étage courante (2,5 à 3 m).

Tableau 6 ***Ecart admissible sur la position des armatures de précontrainte selon la norme NBN B 15-002 [16].***

Hauteur, épaisseur ou largeur de l'élément en béton	Ecart admissible $\Delta\ell$ (mm)	
	Câbles formés de torons, fils et barres uniques	*Torons uniques*
ℓ < 200 mm	± 0,025 ℓ	± 0,025 ℓ
ℓ > 200 mm	± 0,025 ℓ ≤ ± 20 mm	± 0,04 ℓ ≤ ± 30 mm

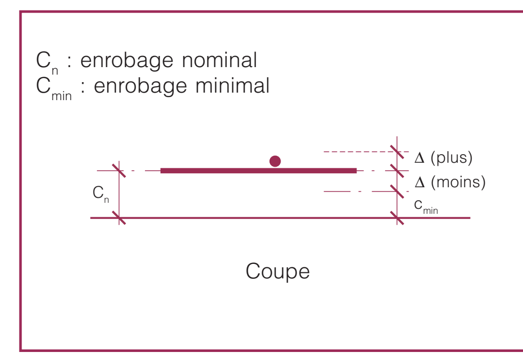
Tableau 7 ***Ecart admissible sur la position des armatures de précontrainte selon la norme NBN ENV 13670-1 [19].***



Position de l'armature de précontrainte
Coupe longitudinale

Hauteur h de l'élément	Ecart admissible Δ de classe 1
h ≤ 200 mm	± 0,03 h
h > 200 mm : – armatures post-contraintes	La plus petite de ces valeurs : ± 0,03 h et ± 30 mm
– enrobage mesuré jusqu'à la gaine	- 15 mm

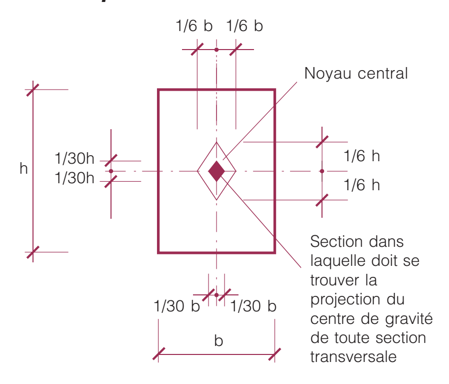
Tableau 5 ***Ecart admissible sur l'enrobage des armatures [19].***



Coupe

Hauteur h de l'élément	Ecart admissible prEN 1992-1-1 (2003)	
	NBN ENV 13670-1 [19] Classe 1	En cas de contrôle de qualité
Tous les h : Δ (moins)	- 10 mm	–
h ≤ 150 mm : Δ (plus)	+ 10 mm	+ 5 mm
h = 400 mm : Δ (plus)	+ 15 mm	+ 10 mm
h ≥ 2500 mm : Δ (plus)	+ 20 mm	+ 20 mm

***Fig. 5** Ecart admissible sur la verticalité d'un pilier.*



Pour la même hauteur d'étage, dans le cas des colonnes, la norme NBN ENV 13670-1 [19] admet un écart de 15 mm dans des conditions d'exécution normales (classe 1). Elle impose en outre un écart maximal admissible pour plusieurs étages. Les écarts admissibles sur la mise en œuvre des éléments en béton selon les différents documents de référence applicables sont repris au tableau 3 (p. 5).

Pour les écarts admissibles sur les colonnes, le Fascicule 5 du Cahier général des charges [3] exige que la projection, sur le plan de la base, du centre de gravité de toute section transversale reste dans un contour de même forme et de même centre que le noyau central dont les dimensions linéaires sont réduites de 5 à 1 (figures 5 et 6).

6.2.2 Ecart admissible sur l'alignement vertical

L'écart admissible sur l'alignement vertical concerne la position relative des colonnes et des parois des étages adjacents (figure 7). Le Fascicule 5 du Cahier général des charges pour travaux de construction privée [3] n'impose aucune valeur à ce sujet, mais exige uniquement que l'influence d'une mauvaise superposition des colonnes sur la stabilité de l'ensemble soit vérifiée par calcul.

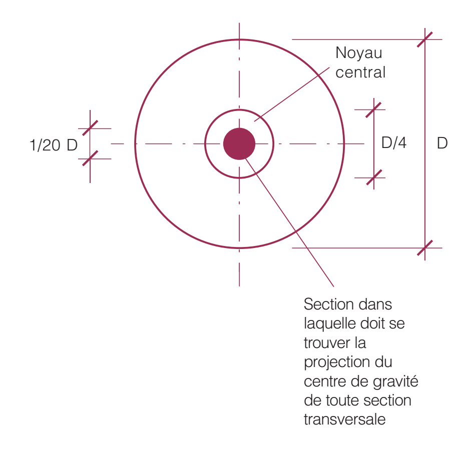
La norme NBN ENV 13670-1 [19], quant à elle, fixe des valeurs spécifiques (type N) et précise que les écarts admissibles sur l'alignement vertical dépendent de l'épaisseur des éléments superposés (voir le tableau 3, p. 5 et la figure 7).

6.2.3 Ecart admissible sur la régularité des lignes horizontales

A ce sujet, il importe de se référer aux prescriptions du Fascicule 6 du Cahier général des charges [4], où l'écart admissible est donné par la formule suivante :

$$\varepsilon = \pm \frac{1}{8}\sqrt[3]{d_b}$$, avec un maximum de 4 cm.

***Fig. 6** Ecart admissible sur la verticalité d'une colonne.*



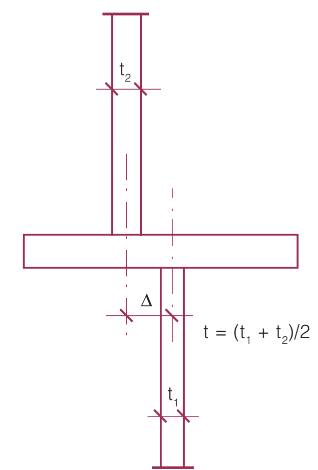
Dans cette formule, la valeur 'd_b' représente la longueur de la ligne horizontale, exprimée en centimètres. La valeur obtenue pour l'écart maximal admissible ε est également exprimée en centimètres. L'écart admissible est destiné à préserver l'équilibre des lignes architecturales des ouvrages de construction.

De ce point de vue, les valeurs obtenues après application de la formule ci-dessus diffèrent fondamentalement de celles stipulées dans la norme NBN ENV 13670-1 [19], qui considère l'écart admissible général sur l'horizontalité des poutres et des dalles comme une tolérance de type I (figure 8). L'écart admissible sur l'horizontalité des poutres et des dalles est une fonction linéaire de la longueur de la poutre (donnée, dans ce cas, par L, exprimée en millimètres), soit : $\varepsilon = \pm (10 + L/500)$ mm. Cet écart est également imposé pour l'horizontalité des poutres juxtaposées à intervalles L (voir figure 9).

7 TOLÉRANCES D'EXÉCUTION DES BAIES ET ÉVIDEMENTS

En ce qui concerne les tolérances sur les ouvertures pratiquées dans les éléments en béton, on se reportera aux valeurs données dans la NIT 127 [1]. La limite supérieure L_s et la limite inférieure L_i correspondent à des écarts dont la

***Fig. 7** Ecart admissible sur l'alignement vertical [19].*



probabilité de ne pas être dépassés est respectivement de 95 % et 65 %.

La norme NBN ENV 13670-1 [19] prévoit également des écarts admissibles pour les aspects suivants (voir tableau 8) :

- l'emplacement de l'ouverture (Δ1)
- ses dimensions (Δ2)
- sa position par rapport aux parois de l'élément (Δ3). ■

***Fig. 8** Ecart d'horizontalité des poutres et des dalles.*

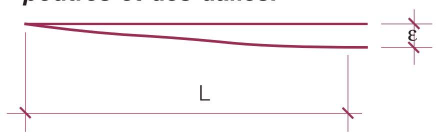


***Fig. 9** Ecart d'horizontalité des poutres juxtaposées.*

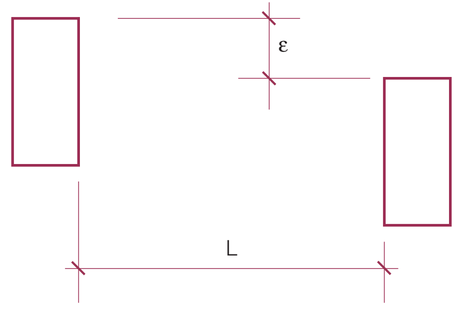
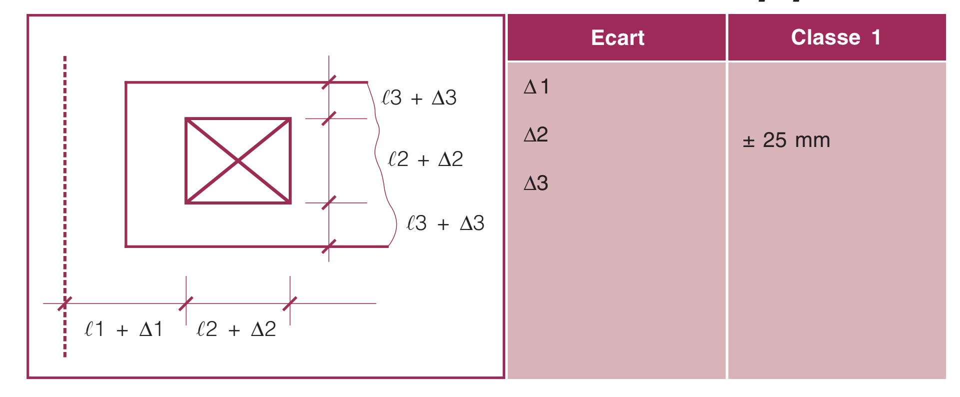


***Tableau 8** Ecarts admissibles sur les baies et les évidements [19].*



Ecart	Classe 1
Δ1 Δ2 Δ3	± 25 mm



Bibliographie

1. Centre scientifique et technique de la construction
Ecarts admissibles sur les dimensions. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 127, septembre 1979.

2. Centre scientifique et technique de la construction
Le ferraillage du béton. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 217, 2000.

3. Fédération des Architectes de Belgique, Confédération nationale de la construction et Centre scientifique et technique de la construction
Ouvrages en béton. Bruxelles, FAB-CNC-CSTC, Cahier général des charges pour travaux de construction privée, Fascicule 5, 2e édition, 1979.

4. Fédération des Architectes de Belgique, Confédération nationale de la construction et Centre scientifique et technique de la construction
Maçonnerie. Revêtements de façades en pierre et en béton. Constructions enterrées. Bruxelles, FAB-CNC-CSTC, Cahier général des charges pour travaux de construction privée, Fascicule 6, 2e édition, 1979.

5. Comité européen de normalisation
ENV 1992-1-1 Eurocode 2 : Design of Concrete Structures. Part 1-1 : General Rules and Rules for Buildings. Bruxelles, CEN, 1991.

6. Comité européen de normalisation
prEN 1992-1-1 Eurocode 2 : Design of Concrete Structures. Part 1-1 : General Rules and Rules for Buildings. Bruxelles, CEN, 2003.

7. Conseil international du bâtiment
Tolérances sur les défauts d'aspect du béton. Rotterdam, rapport CIB, n° 24, juin 1973.

8. De Cuyper J. et Pollet V.
Tolérances admises sur les ouvrages en béton coulé in situ. Bruxelles, CSTC, CSTC-Magazine, n° 1, 1999.

9. Drysdale
Placement errors in concrete columns. Detroit, Journal ACI, American Concrete Institute, janvier 1969.

10. Institut belge de normalisation
NBN A 24-301 Produits sidérurgiques - Aciers pour béton armé - Barres, fils et treillis soudés - Généralités et prescriptions communes. Bruxelles, IBN, 1986.

11. Institut belge de normalisation
NBN A 24-302 Produits sidérurgiques. Aciers pour béton armé. Barres lisses et barres à nervures. Fils machine lisses et fils machine à nervures. Bruxelles, IBN, 1986.

12. Institut belge de normalisation
NBN A 24-303 Produits sidérurgiques. Aciers pour béton armé. Fils écrouis à froid lisses et fils écrouis à froid à nervures. Bruxelles, IBN, 1986.

13. Institut belge de normalisation
NBN A 24-304 Produits sidérurgiques. Aciers pour béton armé. Treillis soudés. Bruxelles, IBN, 1986.

14. Institut belge de normalisation
NBN B 06-009 Ecarts maximaux admissibles pour la pose des structures de bâtiment. Bruxelles, IBN, projet de norme, 1994.

15. Institut belge de normalisation
NBN B 06-010 Eléments en béton. Ecarts dimensionnels maximaux. Bruxelles, IBN, projet de norme, 1994.

16. Institut belge de normalisation
NBN B 15-002 Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Bruxelles, IBN, 1999.

17. Institut belge de normalisation
NBN EN 13369 Règles communes pour les produits préfabriqués en béton. Bruxelles, IBN, 2004.

18. Institut belge de normalisation
NBN ENV 10080 Aciers pour l'armature du béton. Armatures pour béton armé soudables à verrous B500. Conditions techniques de livraison pour les barres, les couronnes et les treillis soudés. Bruxelles, IBN, 1995.

19. Institut belge de normalisation
NBN ENV 13670-1 Execution of Concrete Structures. Part 1 : General Rules and Rules for Buildings. Bruxelles, IBN, 2000.

20. Institut belge de normalisation
NBN I 10-002 Aciers de précontrainte. Fils tréfilés. Bruxelles, IBN, 1987.

21. Institut belge de normalisation
NBN I 10-003 Aciers de précontrainte. Torons (avec erratum). Bruxelles, IBN, 1986.

22. Institut belge de normalisation
NBN I 10-008 Armatures de précontrainte. Torons protégés gainés. Bruxelles, IBN, 2003.

23. Institut belge de normalisation
NBN ISO 4463 Méthode de mesurage pour la construction. Piquetage et mesurage. Bruxelles, IBN, 3 parties, 1992.

24. Institut belge de normalisation
NBN ISO 7976 Tolérances pour le bâtiment. Méthode de mesure des bâtiments et des produits pour le bâtiment. Bruxelles, IBN, 2 parties, 1992.

25. Institut belge de normalisation
NBN ISO 8322 Construction immobilière. Instruments de mesures. Procédures de détermination de l'exactitude d'utilisation. Bruxelles, IBN, 10 parties, 1992.

26. Institut belge de normalisation
PTV 200 Eléments de structure préfabriqués en béton armé et précontraint. Spécifications pour les matières premières, la fabrication, les éléments finis et le calcul. Bruxelles, IBN (Probeton), 1997.

27. Institut belge de normalisation
PTV 201 Eléments préfabriqués de planchers alvéolés en béton armé et précontraint. Prescriptions relatives aux matières premières, à la fabrication, aux produits finis et au calcul. Bruxelles, IBN (Probeton), 1997.

28. Institut belge de normalisation
PTV 202 Prédalles en béton armé et précontraint. Prescriptions relatives aux matières premières, à la fabrication, aux produits finis et au calcul. Bruxelles, IBN (Probeton), 1999.

29. Institut belge de normalisation
PTV 212 Eléments de parois préfabriqués en béton armé et en béton précontraint. Prescriptions pour les matières premières, la fabrication et les produits finis. Bruxelles, IBN (Probeton), 2001.

30. Institut belge de normalisation
PTV 21-601 Eléments en béton décoratif. Bruxelles, IBN (Probeton), 2001.

31. Institut belge de normalisation
PTV 302 Aciers pour béton armé. Barres et fils machines laminés à nervures. Bruxelles, IBN (OCAB), 2002.

32. Institut belge de normalisation
PTV 303 Aciers pour béton armé. Fils écrouis à froid à nervures. Bruxelles, IBN (OCAB), 1998.

33. Institut belge de normalisation
PTV 304 Aciers pour béton armé. Treillis soudés. Bruxelles, IBN (OCAB), 1998.

34. Institut belge de normalisation
PTV 305 Aciers pour béton armé. Poutres treillis. Bruxelles, IBN, 2000.

35. Institut belge de normalisation
PTV 306 Aciers pour béton armé. Façonnage (dresser, couper, plier, positionner et souder). Bruxelles, IBN, 2002.

36. Institut belge de normalisation
PTV 307 Aciers pour béton armé. Barres à nervures. Profil alternatif. Bruxelles, IBN, 2003.

37. Nederlands Normalisatie-Instituut
NEN 2889 Betonelementen. Maximaal toelaatbare maatafwijkingen. Delft, 1ère édition, décembre 1990.

38. Swedish Cement and Concrete Research Institute
Deviations in the location of reinforcement. Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Proceedings n° 40, 1969.